

S/N 10/765,309

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant:	NISHII et al.	Examiner:	Unknown
Serial No.:	10/765,309	Group Art Unit:	2872
Filed:	January 27, 2004	Docket No.:	10873.1394US01
Title:	OPTICAL ELEMENT, OPTICAL CIRCUIT PROVIDED WITH THE OPTICAL ELEMENT, AND METHOD FOR PRODUCING THE OPTICAL ELEMENT		

CERTIFICATE UNDER 37 CFR 1.10:

"Express Mail" mailing label number: EV 407260045 US
Date of Deposit: August 16, 2004

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the U.S. Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to Commissioner for Patents, Mail Stop MISSING PARTS, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

By: 

Name: David Ortiz

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT(S)

Mail Stop MISSING PARTS

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicants enclose herewith certified copies of Japanese applications, Serial No. 2003-018990, filed January 28, 2003, and Serial No. 2003-187105, filed June 30, 2003, the right of priority of which is claimed under 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

MERCHANT & GOULD P.C.
P.O. Box 2903
Minneapolis, MN 55402-0903
(612) 332-5300

Dated: August 16, 2004

By: 

Douglas P. Mueller
Reg. No. 30,300

DPM/jh

23552

PATENT TRADEMARK OFFICE

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 2 8 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 1 8 9 9 0
Application Number:

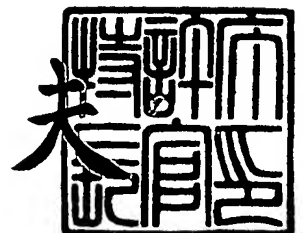
ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 1 8 9 9 0]

願 人
Applicant(s): 日本板硝子株式会社
 独立行政法人産業技術総合研究所

2 0 0 4 年 2 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 02P546

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人産業
技術総合研究所関西センター内

 【氏名】 西井 準治

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人産業
技術総合研究所関西センター内

 【氏名】 中澤 達洋

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜 4 丁目 7 番 2 8 号 日本板硝子
株式会社内

 【氏名】 橋高 重雄

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜 4 丁目 7 番 2 8 号 日本板硝子
株式会社内

 【氏名】 常友 啓司

【特許出願人】

 【識別番号】 000004008

 【氏名又は名称】 日本板硝子株式会社

 【代表者】 出原 洋三

【特許出願人】

 【識別番号】 301021533

 【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

 【代表者】 吉川 弘之

【代理人】

【識別番号】 100069084

【弁理士】

【氏名又は名称】 大野 精市

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012298

【納付金額】 16,800円

【その他】 国等以外のすべての者の持分の割合 0 8 0 / 1 0 0

国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成
1 4 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構ナノガラ
ス技術プロジェクト委託研究、産業活力再生特別措置法
第 3 0 条の適用を受けるもの）。

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9706787

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学素子およびそれを備えた光回路並びに光分波器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周期構造体を有する光学素子において、該周期構造体は固体からなるリッジ部と溝部の空間とが周期配列した構造を有し、その全体が固体材料中に埋め込まれていることを特徴とする光学素子。

【請求項 2】

前記周期構造体は基板上または基板上に積層した固体層上に形成され、該周期構造体はその上部表面に密着した固体層によって覆われていることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】

前記周期構造体の溝部の深さと幅の比が 0.5 より大きく、かつ同周期構造体の周期と使用する波長の比が $1/20$ 以上、 20 以下の範囲にあることを特徴とする請求項 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

前記周期構造体の溝部の深さと幅の比が 2 以上であることを特徴とする請求項 3 に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記周期構造体は、基板または基板上に積層した下部クラッド層と同周期構造体の上部を被覆する上部クラッド層の間のコア層内に形成され、該コア層の屈折率は前記上部および下部クラッド層の屈折率はよりも大きいことを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項 6】

前記周期構造体が少なくとも入射光を 1 次回折する回折格子である請求項 5 に記載の光学素子 A と、該光学素子 A が形成されたコア層内に形成され伝搬光の広がり角を制御して前記光学素子 A に入射する機能を備えた光学素子 B と、前記光学素子 A により分波された複数の異なる波長成分を有する光線を集光する光学素子 C とを、少なくともそれぞれ 1 つ備えた光回路。

【請求項 7】

前記光学素子 B に光を入射するチャンネル光導波路と、前記光学素子 C から出射される波長毎に分波された光線にそれぞれ結合するチャンネル光導波路アレイとを備えた請求項 6 に記載の光回路。

【請求項 8】

前記光学素子 B および C が凹面鏡であることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の光回路。

【請求項 9】

前記凹面鏡は、それが形成されているコア層と空間との界面の全反射を用いてなることを特徴とする請求項 8 に記載の光回路。

【請求項 10】

前記凹面鏡において、それが形成されているコア層と空間との界面が放物線の一部からなることを特徴とする請求項 9 に記載の光回路。

【請求項 11】

各部の寸法が以下の条件 (1) ~ (2) を満たすことを特徴とする請求項 10 に記載の光回路。

(1) 前記光学素子 A である回折格子の光を回折できる幅が、

$$2a(\lambda_0/\Delta\lambda)/m$$

以上であること。

(2) 前記光学素子 B である凹面鏡の光を反射できる幅が、

$$2a \cdot \cos \beta_1 \cdot (\lambda_0/\Delta\lambda) / (m \cdot \cos \alpha_1)$$

以上であり、かつ前記光学素子 C である凹面鏡の光を反射できる幅が、

$$2a \cdot \cos \beta_2 \cdot (\lambda_0/\Delta\lambda) / (m \cos \alpha_2)$$

以上であること。

ただし、

α_1 : 前記光学素子 B である凹面鏡への入射角

α_2 : 前記光学素子 C である凹面鏡への入射角

β_1 : 前記光学素子 A である回折格子への入射光束の入射角

β_2 ：前記光学素子Aである回折格子からの出射光束の出射角

a ：前記光学素子Aである回折格子の格子周期

N ：前記光学素子Aである回折格子の格子溝総数

$\Delta\lambda$ ：所定最小波長間隔

λ_0 ：所定中心波長

m ：回折次数

とする。

【請求項12】

請求項6に記載の光回路と、前記光学素子Bに光を入射するように配置された光入力部と、前記光学素子Cから出射される波長毎に分波された光線にそれぞれ結合するように配置された光出力部と、を備えたことを特徴とする光分波器。

【請求項13】

請求項7に記載の光回路と、前記チャンネル光導波路に光を入射するように配置された光入力部と、前記チャンネル光導波路アレイに結合するように配置された光出力部と、を備えたことを特徴とする光分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システム、あるいは光ディスク用ピックアップ装置などに用いられる波長の異なる光を分離する装置に関し、とくにそれに用いられる光学素子および光集積回路に関する。

【0002】

【従来の技術】

インターネットの急速な普及により、光ファイバ通信網の情報伝送容量の増大が強く求められるなか、波長多重（WDM）方式の開発が急速に進められてきた。WDM方式とは、複数の波長の異なる光を用い独立な情報を多重化して伝達する通信技術である。この技術においては、多重化した信号を分離するために波長選択性の良い光分波器が必要となる。

【0003】

ところで近年、WDM方式による光通信は、これまでの幹線系だけでなく都市内など中近距離系にも適用が進められている。この場合、幹線系のような高密度波長多重（DWDM）方式ではなく、比較的チャネル幅の広い低密度波長多重（CWDM）方式が主流となる。

【 0 0 0 4 】

CWDM方式における光分波器では、DWDM方式と違って設置スペースが小さくて良い（小型化）、温度や湿度に対する耐性が高い（高安定性）等の性能が求められるうえに、大量生産が可能（低コスト）でなければならない。

【 0 0 0 5 】

このような要求を実現する一つの手段は、光分波器を光導波路を用いた平面回路型とすることである。平面回路型とする最大の利点は、小型化は当然のこと、基板をリソグラフィとドライエッチング技術によりウェハごとに大量処理できる点である。またシリカ系ガラスを用いた光導波路は光ファイバとの屈折率整合がよく、接続損失が小さいため、実用性が高い。

【 0 0 0 6 】

このような光分波器としては、アレイ導波路型回折格子（AWG、Arrayed Waveguide Gratings）が知られている。AWGとは複数の波長成分を含む光を、複数本の少しずつ光路長の異なる光導波路（光導波路アレイ）に伝搬させ、生じた位相ずれによる回折現象を利用して波長分離をおこなう素子である。

【 0 0 0 7 】

しかしAWGはもともとDWDM方式用に開発された光分波器であるため、CWDM用に設計してもコスト低減や小型化の効果は小さく、CWDM方式への適用は相応しくない。

【 0 0 0 8 】

一方、反射型、あるいは透過型の回折格子を用いて波長分離を行う光分波器は従来よく知られている。これらは光学部品の組合せによって構成されていたが、この光学系を平面光回路へ集積した分光装置も開発されている（非特許文献 1、2 参照）。反射型のブレース回折格子を用いた平面回路ではAWGに対して数 1 0 %以上の小型化が可能であり、回折格子を平面光回路へ集積した光分波器はC

WDM用として有望である。

【0 0 0 9】

【非特許文献 1】

S・ヤンツ (S. Janz)、他13名、「光ファイバ通信国際会議論文集 (Proceedings of OFC 2002)」、(米国)、2002年、TuK2

【非特許文献 2】

クリストファー・N・モーガン (Christopher. N. Morgan)、他 4 名、「IEEE フォトニクス・テクノロジー・レターズ (IEEE Photonics Technology letters)」、(米国)、2002年、第14巻、第 9 号、p. 1303-1305

【0 0 1 0】

【発明が解決しようとする課題】

しかし平面光回路に集積する反射型回折格子は、基板からの高さは数 μm 程度の微小かつ垂直な回折格子面を形成する必要がある、さらにその回折格子面に反射面としての金属成膜が必要となる。このような構造を作製するためには複雑かつ高度な加工技術が必要となる。

【0 0 1 1】

また回折格子による波長分解能は、回折光の次数と格子数の積に比例することは良く知られている。次数と回折格子の大きさを一定とすると分解能を向上させるためには格子周期を小さくしなければならない。ブレースの回折格子では格子周期が波長程度になってくると偏光方向 (TE 偏光と TM 偏光) による効率差すなわち偏光依存損失 (Polarization Dependent Loss、PDL) が顕著になってくる。逆に PDL を緩和するため周期を大きくすると、格子本数を増やさなければならなくなり、分波器の小型化が困難になる。また回折次数を増やすと高次の不要な光を他の装置によって除去しなければならなくなるため、効率が当然急減する。

【0 0 1 2】

一方、透過型の回折格子を用いた平面光回路では、スラブ導波路内に回折格子を形成するための空間を作る必要がある。しかし光導波路を構成するためにはその上部にクラッド層を形成する必要があり、その形成時に空間を維持するのが困

難である。一般に空気層をクラッドとする光導波路では伝搬モードが多モードになり、偏光による依存性も非常に顕著になる。

【0013】

本発明はこのような従来の平面光回路型光分波器の問題点を解決するためになされたもので、波長分解能が高く、偏波依存が少なく、かつ小型化が可能な光分波器を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の光学素子は、固体からなるリッジ部と溝部の空間とが周期配列された周期構造体を備え、その周期構造体全体が固体材料中に埋め込まれた構造を有している。

この周期構造体は基板上または基板上に積層した固体層上に形成され、その上部表面に密着した固体層によって覆われていることが望ましい。

【0015】

このような光学素子は一般的なリソグラフィー、エッチングおよび成膜技術だけで作製できる。また周期構造体を光導波路中に形成することが容易で、かつ微細な周期構造体を破損、汚染から保護でき、耐久性を向上できる。

【0016】

上記のように埋め込まれた周期構造体は、溝部の深さと幅の比が0.5より大きいことが望ましく、2以上であればより好ましい。

このような形状の周期構造体は上部に被覆膜を成膜しても溝部が埋まることなく、周期構造体を構成する溝部の空間が維持できる。

【0017】

またこの条件に加えて周期構造体の周期と使用する波長の比が $1/20$ 以上、 20 以下の範囲にあることが望ましい。

周期と使用波長の比を上記の範囲とすることにより、周期構造体を回折格子、フォトニック結晶、偏光分離素子、無反射構造等広い範囲で応用することができる。とくに固体と気体（または真空）とからなる周期構造体を用いることにより、屈折率差が大きくできるため、上記の各素子の性能を向上させることができる。

。

【0018】

さらに周期構造体を、基板または基板上に積層した下部クラッド層と同周期構造体の上部を被覆する上部クラッド層の間のコア層内に形成することが望ましい。このコア層の屈折率は上部および下部クラッド層の屈折率よりも大きくする。

このような構造の光学素子は、光導波路構造を有しているため、単一モード伝搬を行うことができ、また偏光依存性を低減できるとともに、光ファイバとの結合損失を低減することが可能となる。

【0019】

本発明の光回路は、上記の周期構造体が少なくとも入射光を1次回折する回折格子として機能する光導波路構造を有した光学素子Aと、この光学素子Aが形成されたコア層内に形成され伝搬光の広がり角を制御して光学素子Aに入射する機能を備えた光学素子Bと、光学素子Aにより分波された複数の異なる波長成分を有する光線を集光する光学素子Cとを、少なくともそれぞれ1つ備える。

上記の光学素子を要素として備えることにより、光分波器として機能する平面光回路を提供することができる。

【0020】

また、この光回路は、光学素子Bに光を入射するチャンネル光導波路と、前記光学素子Cから出射される波長毎に分波された光線にそれぞれ結合するチャンネル光導波路アレイとを備えることが望ましい。

光回路内にチャンネル光導波路、導波路アレイを配置することにより、光回路への光入射、光回路からの出射光の取り出しを容易にすることができる。

【0021】

上記の光学素子BおよびCが凹面鏡であることが望ましく、それが形成されている固体層と空間との界面の全反射を用いてなることが好ましい。このとき、凹面鏡が形成されているコア層と空間との界面が放物線の一部からなっていることが望ましい。

【0022】

上記のような凹面鏡は平面光回路内に周期構造体と共通の工程で容易に形成できる。また、全反射を利用することで、反射面に金属膜を形成する工程を省くことができる。さらに凹面鏡を放物線形状とすることにより、収差のない集光特性を得ることができる。

【0023】

上記の光回路は、各部の寸法が以下の条件(1)～(2)を満たすことが望ましい。

(1) 光学素子Aである回折格子の光を回折できる幅が、

$$2a(\lambda_0/\Delta\lambda)/m$$

以上であること。

【0024】

(2) 光学素子Bである凹面鏡の光を反射できる幅が、

$$2a \cdot \cos \beta_1 \cdot (\lambda_0/\Delta\lambda) / (m \cdot \cos \alpha_1)$$

以上であり、かつ光学素子Cである凹面鏡の光を反射できる幅が、

$$2a \cdot \cos \beta_2 \cdot (\lambda_0/\Delta\lambda) / (m \cos \alpha_2)$$

以上であること。

【0025】

【0026】

ただし、

α_1 : 前記光学素子Bである凹面鏡への入射角

α_2 : 前記光学素子Cである凹面鏡への入射角

β_1 : 前記光学素子Aである回折格子への入射光束の入射角

β_2 : 前記光学素子Aである回折格子からの出射光束の出射角

a : 前記光学素子Aである回折格子の格子周期

N : 前記光学素子Aである回折格子の格子溝総数

$\Delta\lambda$: 所定最小波長間隔

λ_0 : 所定中心波長

m : 回折次数

とする。

【0027】

上記の条件に従うことにより、所望の光分波性能を備えた光回路を最小の寸法で実現することができる。

【0028】

本発明の光分波器は、上記の光回路と、光学素子Bに光を入射するように配置された光入力部と、光学素子Cから出射される波長毎に分波された光線にそれぞれ結合するように配置された光出力部と、を備える。

【0029】

また、チャンネル光導波路、導波路アレイを備えた光回路の場合は、その光回路と、チャンネル光導波路に光を入射するように配置された光入力部と、チャンネル光導波路アレイに結合するように配置した光出力部と、を備える。

【0030】

本発明の光回路に外部から光を入射し、また光回路から出射される光を取り出す光ファイバ等を設けることにより、平面光回路型の光分波器を提供することができる。

【0031】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。

図1は、本発明の基本となる周期構造体を有する光学素子の構成を模式的に示した(a)断面図と(b)平面図である。基板18上にリッジ部11と溝部12が周期的に配列された周期構造体10を形成し、さらにその上部に被覆層14を形成させる。

【0032】

ここでいう周期構造体とは屈折率が異なる2種の材料が周期的に配列されたものをいう。周期構造体の具体的な応用としては回折格子やフォトニック結晶、偏光分離素子等が挙げられる。

【0033】

周期が波長より十分大きい波長程度の周期構造体では、入射した光が回折す

る回折格子として機能する。周期が波長と同程度かつ伝搬方向に十分な長さがある場合、それはフォトニック結晶として機能する。

【0034】

周期が波長より十分小さい場合には、光は周期構造体を平均的な屈折率をもつ媒体としてしか感じない。しかし構造に異方性がある場合、周期構造体は偏光分離素子として機能し、構造に異方性がない場合には、表面から基板に向って連続的に屈折率が勾配を持つように設計することで無反射構造が実現できる。

【0035】

以上をまとめて定量的に示すと、各応用により、周期構造体の周期 a は使用する波長 λ に対して以下のような範囲で用いることが望ましい。

- ・ $\lambda/20 \leq a \leq \lambda/10$: 偏光分離素子、無反射構造等
- ・ $\lambda/10 \leq a \leq 5\lambda$: フォトニック結晶等
- ・ $\lambda/10 \leq a \leq 20\lambda$: 回折格子等

したがって、本発明の周期構造体は、その周期 a を波長 λ で規格化した値 ($= a/\lambda$) が $1/20$ から 20 までの範囲とすることが望ましい。

【0036】

本発明においては、固体材料と気体（または真空）からなる周期構造体を、固体材料内部に埋め込んだ光学素子を作製する。周期構造体を固体材料内部に埋め込むことにより、耐久性、防汚性を向上させることができる。また光導波路構造をとることができ、この場合には単一モード伝搬を行うことができ、また偏光依存性を低減できるとともに、光ファイバとの結合損失を低減することが可能となる。

また、固体と気体（または真空）とからなる周期構造体を用いることにより、大きな屈折率差をもつ周期構造を実現することができる。

【0037】

周期構造体を固体材料内部へ埋め込むには、基板上に作製した周期構造体の上にそれを覆う層を成膜する方法が考えられる。しかし周期構造体に気体層を用いる場合には、成膜によって気体層を形成する溝が埋まってしまう恐れがあり、それを防ぐ必要がある。

【0038】

そこで発明者らは周期構造体上への成膜時における溝への膜の入り込みと周期構造体の形状の関係について調べた。試験用として異なる溝深さ／溝幅比（アスペクト比）をもった直線状の溝を等間隔で配列した1次元周期構造を用いた。その形成にはリソグラフィーとドライエッチング技術を用いた。成膜手段にはシリカや窒化シリコンのような誘電体膜を成膜するのに広く使われるプラズマ化学気相堆積（プラズマCVD）法を用いた。その結果、一般に溝への膜の入り込みはアスペクト比に大きく依存することがわかった。それらの関係式を以下に示す。

【0039】

アスペクト比ARを次式で定義する。

$$AR = d / w$$

ただし、dは基板面に対して垂直方向の溝深さ、wは溝上部の基板面に平行な方向の溝幅である。このとき、ARの値により、溝への膜の入り込みは次のように変化した。

- ・ $AR \leq 0.5$ のとき：完全に溝が埋め込まれる。
- ・ $0.5 < AR < 2$ のとき：一部膜の入り込みがあるが、空孔も残る。
- ・ $2 \leq AR$ のとき：成膜前の溝形状がそのまま維持される。

【0040】

すなわち、気体からなる溝を形成させるためには、高アスペクト比の溝を形成することが必要である。およそアスペクト比が0.5より大きい溝では、多少溝側壁あるいは底部に成膜がされるものの、溝形状とアスペクト比を反映した気体層（空孔）が形成可能なことがわかった。さらにアスペクト比2以上の溝とすることで、ほぼ膜が溝内部へ入り込まず初期の形状を維持した構造が形成可能である。したがって周期構造体の作製精度からみてアスペクト比2以上とすることがより好ましい。

【0041】

以下に1次元の周期構造体を埋め込んだ実施例を示す。

[実施例1]

埋め込み型1次元周期構造体はつぎのような手順により作製した。石英ガラス

基板上にライン状の金属マスクを等間隔で形成した後、ドライエッチングにより溝を作製した。作製した周期構造体の周期は $3\ \mu\text{m}$ 、溝深さ $4\ \mu\text{m}$ 、アスペクト比 3 である。この周期構造体の表面にプラズマ CVD によりシリカを成膜した。成膜後の周期構造体の断面の電子顕微鏡写真を図 2 に示す。図から明らかなように周期構造体がシリカによる被覆層の下に埋め込まれていることがわかる。また溝内部への膜の入り込みも確認されず、埋め込み型の周期構造体の形成が可能であることを実証することができた。

【0 0 4 2】

また写真からわかるように周期構造体の上部表面が平坦であるため、周期構造体上に種々の機能素子を形成し、またそれらを繰り返し積層して集積化するという多様な応用が可能である。

【0 0 4 3】

上記の実施例では均質な基板に一定周期の溝を形成することによる 1 次元周期構造体の作製について説明したが、2 次元あるいは 3 次元の周期構造体を作製することもできる。直交した線状マスクを用いて、均質な基板に直交した溝を形成した 2 次元周期構造体や、均質基板の代わりに多層膜に対して溝を形成した基板垂直面内の 2 次元、あるいは 3 次元の周期構造体等も作製可能である。

【0 0 4 4】

本発明では、光学膜の成膜手法として一般的な化学気相堆積 (CVD) 法 (プラズマ CVD 法を含む) を用いることが望ましい。その他、物理気相堆積 (PVD) 法、火炎堆積 (FHD) 法等も用いることができる。基本的には成膜に方向性が無く、比較的成膜速度が速い手法あるいは条件を採用することが望ましい。成膜材料は安定性が高く、屈折率が低い等の理由からシリカ系材料を用いることが望ましい。基板面に対して垂直方向に多層膜を形成する場合には屈折率や透過率等を考慮し、各用途に適した材料を用いるべきである。

【0 0 4 5】

本発明では周期構造を形成する材料に特に限定はなく、誘電体、半導体、金属、有機材料等を用いることができる。しかし前述のように被覆層の成膜に比較的温度の高い成膜手法を用いることから、熱的に安定な無機材料を用いることが望

ましい。

【0046】

また加工には半導体微細加工技術を応用することが望ましく、そのためシリカ、窒化シリコン、チタニア等の誘電体や、シリコンや InP 等の半導体のような加工精度の高い材料が望ましい。

【0047】

本発明における周期構造体は固体材料と気体の周期配列であるため、その屈折率差は30%以上と大きくなる。従って大きい屈折率差を必要とする、あるいは屈折率差が大きい方が性能上有利となる光学素子（例えばフォトニック結晶、偏光ビームスプリッタ、高効率透過型回折格子）を作製する場合には、本構造は非常に好適であり、材料も窒化膜や半導体のように高屈折率なものを用いればより屈折率差を大きくすることができる。逆に屈折率の低いシリカにおいても十分大きな屈折率差は確保できるため、化学的にも物理的にも非常に安定なシリカ系の光学素子の作製にも適している。

【0048】

[実施例2]

第2の実施例の光学素子は光導波路構造を有し、その光導波路内に周期構造体である回折格子が埋め込まれている。この光学素子の断面図(a)と平面図(b)を図3に示す。基板(図示を省略する)上に下部クラッド層28、コア層26が設けられ、その上を上部クラッド層24が覆っている。コア層内の一部に回折格子20が形成されている。回折格子の周期構造は固体のリッジ層21と溝部22からなる空気層の周期配列によって構成されている。なお、下部クラッド層28は基板によって代用することもできる。

【0049】

コア層26の屈折率を上下クラッド層24、28の屈折率に対して大きくすることにより、光導波路構造が形成され、コア層26に導入された光はコア層内に閉じ込められて伝搬する。光導波路内に形成された回折格子20に平行な入射光102が入射すると、光は波長と回折格子の周期、コア層の屈折率で決まる回折角をもって出射され、この回折光103は再びコア層を伝搬する。本構成による

と、従来の回折格子を用いた光学系のように基板面に垂直な方向ではなく面内方向に光を伝搬させることができ、光回路として集積、小型化が可能となる。

【 0 0 5 0 】

本実施例においては以下のような条件により単一モード伝搬が可能な光導波路構造を作製した。

- ・ 波長 $1.55 \mu\text{m}$
- ・ 上部クラッド層 シリカ（屈折率 1.455）
- ・ 下部クラッド層（基板） シリカ（屈折率 1.455）
- ・ コア層 Ge ドープシリカ（屈折率 1.460）
厚さ $5 \mu\text{m}$

【 0 0 5 1 】

もし上部クラッド層を形成しなければ、単一モードを得るコア層の厚さは $1 \mu\text{m}$ 以下となり、外部からの入出力光の結合が困難になるだけでなく、屈折率差あるいは歪みが大きいと、偏波依存性や界面での伝搬損失も当然大きくなる。すなわち、上部クラッド層を形成することにより、波面の制御が容易な単一モードでの伝搬が、現実的な設計値で可能となる。また上部クラッド層の形成は回折格子の保護、耐久性、耐汚染性の観点から好ましいことはいうまでもない。

【 0 0 5 2 】

ここで周期が波長程度である透過型回折格子は光の伝搬方向に厚みを持たせることで、体積効果が生じる。シリカからなる矩形溝回折格子の場合、シミュレーションによると、波長 $1.46 \sim 1.58 \mu\text{m}$ において偏光依存損失 PDL（ $= 10 \times \log_{10}$ （TE 偏光における 1 次回折効率 / TM 偏光における 1 次回折効率））が 0.1 dB 以下、1 次回折効率が 94 % 以上という非常に優れた特性が得られる（計算には RCWA（Rigorous Coupled Wave Analysis）法によるプログラム（Grating Solver Development 社製 GSOLVER ver4.20b）を使用した）。

【 0 0 5 3 】

計算に用いた条件はつぎの通りである。

- ・ リッジ／溝部の屈折率 $1.46 / 1.00$ （波長 $1.55 \mu\text{m}$ における値）

- ・ リッジ部の幅／溝部の幅 $0.85 / 0.60 \mu\text{m}$
- ・ 光伝搬方向の幅 $3.15 \mu\text{m}$
- ・ 入射角度 20°

【0054】

例えば応用分野を光通信に向けると光ファイバより導かれる光は光ファイバの状態によって様々な偏光状態となり、現実的にその偏光状態を予測することは困難である。そのため偏波方向を制御する部品をシステムに付加しなければならず、それは当然コスト上昇につながる。したがってこのような回折格子を用いることにより、偏波に依存した損失を抑えることができ、システム構築に非常に有利になる。ここでは矩形形状の回折格子を例として挙げたが、三角形や先だけが尖った形状等、様々な形状で優れた特性が得られ、形状は特に限定はされない（小山次郎、西原浩著「光波電子光学」、コロナ社、1978年、第4章、参照）。

【0055】

前述した回折格子の性能は屈折率 1.46 と 1.00 の周期構造によって実現できるため、溝部を空気のまま内部へ埋め込む技術が必要となる。光通信波長帯（波長 $1.3 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 付近）の場合、シリカ系導波路の厚さは $5 \mu\text{m}$ 程度であるので、格子溝のアスペクト比は 8 程度となり、実施例 1 で説明したようにコア材料と空気との周期構造をもった埋め込み透過型回折格子の形成が可能となる。

【0056】

本構成は、特にコア材料に限定はなく、一般的な Ge ドープシリカだけでなく高屈折率の窒化シリコンやシリコンでも形成可能である。しかし光通信用の光分波器として用いる場合には、性能、外部との接続等の面で有利な、シリカ／Ge ドープシリカ系の光導波路を $5 \mu\text{m}$ 程度のコア厚さで用いることが好ましい。

【0057】

以上、周期が波長程度かつ体積効果を有する透過型回折格子を用いることで、偏波依存、光ファイバとの接続等に有利な埋め込み型光導波路内に回折格子を作製することができ、さらに回折特性も非常に優れたものが得られることがわかる。

【0058】

[実施例3]

図4には本発明の光分波器の平面模式図を示した。基板38上にスラブ光導波路が形成され、光の分波は実施例2で説明した光導波路内に埋め込まれた透過型回折格子30によってなされる。同一基板上の光導波路内には回折格子に光を入射するための凹面鏡33と回折格子を透過した光を出射するための凹面鏡35も形成され平面光回路が形成されている。この平面光回路には、光を入射するための光ファイバ等からなる光入力部37、波長毎に光を外部へ出力するための光出力部39が取り付けられ、全体として光分波器が構成されている。

【0059】

つぎに、この光分波器の動作について説明するため、構成要素と光学パラメータを示した光学系の概念図を図5に示す。光入力部37からコア層（スラブ導波路）へ入った光51は光導波路の開口数（NA）に従い扇状に広がりながら伝搬する。この光を凹面鏡33によって広がり角が小さい平行光束52に変換して、回折格子30に所定の入射角度で入射させる。回折格子30により入射光は波長成分ごとに方向の異なる光束53となり、それぞれが凹面鏡35により異なる点に集光されて、光出力部39に結合する。

【0060】

ここで、光分波器が分離すべき最小の波長間隔の入射波長を λ_1 、 λ_2 とし、その平均波長を λ_0 （ $= (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$ ）とする。このとき、回折格子30により波長 λ_1 と λ_2 の光束が回折される角度の差を、 $\Delta\phi$ （単位はラジアン）とする。

【0061】

また光導波路のNAは下式で定義される。

$$NA = (n_1 - n_0)^{0.5} = n_1 \cdot \sin \theta$$

ただし、 n_1 はコア層の屈折率、 n_0 はクラッド層の屈折率である。ここでは、簡単のため上下のクラッド層の屈折率が等しい対称光導波路とし、屈折率差（ $n_1 - n_0$ ）は0.01程度であるとする。光ファイバからコア層へ入射した光はおよそ θ の広がり角度をもって伝搬する。

【0062】

ここで、図5に示すように、光分波器のパラメータを以下のように定義する。

入射側凹面鏡の有効径： D_1

出射側凹面鏡の有効径： D_2

入射側の平行光束の幅： P_1

出射側の平行光束の幅： P_2

回折次数： m

回折格子の溝の総数： N

回折格子の溝周期： a

光軸と入射側鏡面の交点における、鏡面法線と光軸との角度： α_1

光軸と出射側鏡面の交点における、鏡面法線と光軸との角度： α_2

回折格子への入射角： β_1

回折格子からの出射角： β_2

導波路部分の屈折率： n

【0063】

回折格子における波長分解能は、下式のように回折次数 m と溝の総数 N の積で決定される。

$$\lambda_0 / \Delta \lambda = m \cdot N$$

ただし、上記の式は、遠視野での波長間隔としてエアリーディスクの半径を採用したものである。2波長を明瞭に分離するには、エアリーディスクの直径程度の間隔が必要なので、

$$\lambda_0 / \Delta \lambda = mN / 2 \quad (1)$$

を回折格子の解像力とする。

【0064】

(1)式より、回折格子の幅 D_0 は、

$$D_0 = a \cdot N = 2a (\lambda_0 / \Delta \lambda) / m$$

回折格子へ入射する光束の幅 P_1 は、

$$P_1 = D_0 \cdot \cos \beta_1 = 2a \cdot \cos \beta_1 \cdot (\lambda_0 / \Delta \lambda) / m$$

入射側凹面鏡の有効径 D_1 は、

$$D_1 = P_1 / \cos \alpha_1 = 2a \cdot \cos \beta_1 \cdot (\lambda_0 / \Delta \lambda) / (m \cdot \cos \alpha_1)$$

となる。出射側は同様に、

$$D_2 = 2a \cdot \cos \beta_2 \cdot (\lambda_0 / \Delta \lambda) / (m \cdot \cos \alpha_2)$$

である。以上述べた関係により、図2に示した光分波器の各要素の最小サイズが決定される。

【0065】

また、上記の D_1 に対応する入射側凹面鏡の開口数 NA_1 は、入射部37の開口数をカバーするように、凹面鏡の曲率を選ぶ必要がある。

出射部の焦点間隔を S は出射側のエアリーディスク直径なので、出射側凹面鏡の開口数 NA_2 を用いて

$$S = 1.22 \lambda_0 / NA_2$$

により表わされる。導波路部分の製作方法などにより、 S の値の下限が設定されている場合は、出射側の開口数 NA_2 を小さくして S を大きくする必要がある場合も考えられる。

【0066】

以上述べた設計値は、波長分解力を確保しつつ光分波器全体を最小化する場合のものである。したがって、例えば上記の値よりも溝の総数や光束の幅を大きくして余裕を持たせた設計とすることもできる。そうすることによって、

- ・ S の値を上述した値より大きくしてクロストークを減らす
- ・ 凹面鏡部での光束のけられを減らして損失を低減する

といった効果がある。

【0067】

また凹面鏡は、空間とコア層の材料との界面を利用することにより、周期構造体と共通の溝加工工程で簡単に作製できる。ここで屈折率の高い媒体から屈折率の低い媒体へ光が伝搬するとき、ある角度範囲では光は低屈折率媒体へは出射せずに、界面で全反射することは良く知られている。その角度 γ は臨界角と呼ばれ以下の式で表される。

$$s \equiv n_\gamma = n_{\text{air}} / n_1 = 1 / n_1$$

ここで、 n_{air} は空気の屈折率である。

【0068】

そこで凹面鏡に入射する光が臨界角条件を満たすように設計することで、凹面鏡表面に金属成膜の必要がなくなり、また理論的には反射損失はほぼゼロとなる。さらに、本構成では凹面鏡は集光点からの光を平行光に変換する（あるいは逆の）機能を持っている。そこで凹面曲線を放物線の一部とすることで収差のない完全な集光点あるいは平行光が得られる。従って前述の全反射条件と、放物面の条件を満たす形状により、損失を最小限に抑えた最適な凹面鏡が得られる。

【0069】

ここでは集光あるいはコリメートに一对の凹面鏡を用いたが、同様の機能を発揮する他の光学素子、例えば光導波路型レンズを配置しても良い。ただし作製の容易さの観点から凹面鏡を用いる方が好ましい。また一つの凹面鏡あるいはレンズによって、伝搬光を集光しても良く、この場合には光路のどこかに回折格子を配置すれば良い。

【0070】

以上説明した構成による光分波器は、回折格子、光導波路ともに偏波依存性が極めて低いことから、偏波補償装置が不要なこと、平面光回路型かつ超小型であるためリソグラフィ技術のみで基板上に大量に作製可能なこと等の特徴を有しており、低コスト、省スペースが必要とされる分野で非常に好適である。

【0071】

[実施例4]

本実施例の光分波器では、光入出力部をチャンネル光導波路47、49とし、かつ他の要素（回折格子40、凹面鏡43、45）と光回路内に一体化した。この光分波器の平面模式図を図6に示した。なお、この場合も各チャンネル光導波路に結合する光ファイバ等が必要であるが、図示は省略した。これにより光ファイバ等から直接光を入射する実施例3の構造では入射角度や焦点距離の調整が必要であったが、本実施例の光回路では光ファイバ等を各チャンネル光導波路に結合するだけでよく、煩雑な調整作業が不要となる。また光導波路を用いれば、出射部における集光点は $10\mu\text{m}$ 程度の間隔にすることが可能であり、さらなる小

型化が可能となる。

【0 0 7 2】

つぎに本実施例の平面光回路型光分波器の具体的な光学系の構成例を図 7 および図 8 に示す。図 7 は伝搬光の光路を模式的に示したものである。光入力部のチャンネル光導波路 4 7 から入射した光 5 1 は凹面鏡 4 3 で平行光 5 2 に変換され、回折格子 4 0 に入射する。回折格子 4 0 を透過した分波光 5 3 は凹面鏡 4 5 で光出力部のチャンネル光導波路アレイ 4 9 の端面に集光される。

【0 0 7 3】

凹面鏡 4 3、4 5 はいずれも放物面鏡とする。各パラメータは以下の通りである。

- ・ 入射波長： 1. 5 1、1. 5 3、1. 5 5、1. 5 7 μm
- ・ 光導波路の NA： 0. 1 7
- ・ 回折格子の周期 a： 1. 4 5 μm
- ・ 回折格子の幅 D： 1 mm
- ・ 凹面鏡の焦点距離 f： 1. 6 8 mm
- ・ 凹面鏡の曲率半径： 1 mm
- ・ 光出力部集光点間距離 S： 1 7. 4 μm

【0 0 7 4】

以上の構成より、波長間隔 2 0 nm の光を分波することができる。また光出力部の焦点面 P は凹面鏡 4 5 の放物面の軸 C に対して、回折格子 4 0 からの出射角度（格子垂線と出射光との角度）分だけ傾けることで、より最適なスポット径が得られる。

【0 0 7 5】

図 8 は前記の光学設計に従って作成した、本発明の平面光回路型光分波器の具体的な形状の一例を示したものである。光の入射端面 P I および出射端面 P O を平行平面とするため光入力部のチャンネル光導波路 4 7 の一部を曲げ導波路としている。素子の大きさはおよそ 5 × 8 mm となり、非常に微小な光分波器が得られることがわかる。

【0 0 7 6】

当然、光出力部の光導波路アレイから波長の異なる光を入射し、これらを合波して、入力側の導波路から出力することも可能である。さらにここでは4波長の合分波を示したが、チャンネル数は当然増やすことが可能であり、波長幅も狭くすることが可能である。

【0077】

また光回路上の回路配置には上記の条件さえ満たせば制限はなく、図9に示すような種々の配置が考えられる。上記実施例のような点対象型（図9（a））以外に図9（b）、（c）に示すような線対称型配置も可能である。また、光路が交叉する形や図9（d）に示すような光入力部と光出力部が同一端面にあるような配置も可能である。

【0078】

以下に第3もしくは第4の実施例についての作製手順を説明する。本光分波器の作製にはフォトリソグラフィによるパターニングとドライエッチングによる溝加工を用いる。作製手順を図10により説明する。基板78上に必要に応じて下部クラッド層68を成膜する。さらにその上にコア層66を成膜する。成膜手法としてはCVD法やFHD法等が低損失で良質な膜ができることが知られているが、特に限定はされない（図7A）。

【0079】

つぎに光回路型の光分波器の構成要素を作製するための金属マスクをいわゆるリフトオフ法で作製する。まず紫外線、電子線、X線等のエネルギー照射によって感光する材料（以下レジストという）をコア層66表面にスピコートした後、適切な露光手法により所望の構成要素のパターンを作製する。つぎにレジストパターン上に金属膜を成膜する。成膜手法はスパッタリング法や真空蒸着法等を用いることができ、金属膜にはクロムやタンゲステンシリサイド、ニッケル等を用いることができる。特に、リフトオフ法を用いる場合には、フォトレジストの損傷やパターニング精度の向上の観点から真空蒸着法や方向性スパッタリング法を用いることが望ましい。

【0080】

不要な金属膜をレジストパターンとともに除去することで金属マスク69のパ

ターンが形成される（図 7 B）。レジストと金属成膜の順序を入れ替えて、エッチングにより金属マスク 6 9 のパターンを形成させる手法も当然可能である。ただしこの場合は金属として容易にエッチングされる材料を選択することが望ましい。

【0081】

つぎにイオンエッチング装置を用いてコア層の溝加工を行ってリッジ部と溝部が周期配列した周期構造体（回折格子）60を形成する。合わせて他の光学素子、光導波路等、光分波器の構成要素を作製する。エッチング装置は被加工材料に適したものを選択すべきであるが、大面積を能率良く加工するには誘導結合プラズマ（ICP）や磁気中性線放電（NLD）のような高密度プラズマによる反応性イオンエッチング法を用いることが望ましい。残存する金属マスクは腐食液、ドライエッチング等で除去すればよい（図 7 C）。

【0082】

最後にCVD法により、上部クラッド層64を成膜する（図 7 D）。前述したがこのとき回折格子の溝部には膜は入り込まないように条件を設定する。

以上のように本発明の光導波路型光分波器は、従来のリソグラフィー加工により簡易に作製が可能である。

【0083】

本発明の光分波器は、光線の向きを逆とすれば複数波長の光を単一の光ファイバに送りこむ光合波器として使用できることは、言うまでもない。

【0084】

さらに本発明では回折格子を複数配置してもよい。これにより波長分散はその個数に比例して大きくなる。DWDM方式のように、波長間隔が非常に狭い場合には、こうすることで波長分解能を高めることができ、素子寸法を小さく維持できる。このとき導波路部と回折格子部はリソグラフィーにより一体成形することから、工程の増加はなく、コストアップにはほとんどつながらないという利点をもつ。

【0085】

一方、光記録分野では近年DVDをはじめとして、大容量化を目指した記録デ

バイスの開発が進められている。このような記録情報の大容量化にともない記録・読み出し速度の高速化が求められることは明らかである。そのひとつとして多波長による同時記録・読み出しが挙げられる。これは複数の波長を多重した光を光ヘッドへと導きそこで分波することで複数波長の光による書き込みあるいは読み込みを行ない、情報の平行処理を可能とするシステムである。この場合ヘッド材料はディスクの上を走査させることを考えれば小型であることが必須であり、本発明はこのようなシステムへの組み込みに好適である。

【0086】

また本発明では光分波器のみならず実施例1で説明したように、フォトニック結晶や偏光分離素子等、その他の性能を有する素子を作製することが可能である。光の伝搬方向も基板面内（光導波路内）だけでなく基板面に垂直な方向においても機能させることができる。光導波路内では光の合分波、偏光分離、遅延素子等の光機能集積回路が一体成形でき、一方、基板面に垂直な方向では最上層の被覆層表面が平坦なことからレンズアレイを形成させる等の基板面に垂直な方向の光集積素子が作製可能となる。

【0087】

【発明の効果】

本発明によれば、屈折率差の大きな周期構造体を材料内へ埋め込むことができ、多機能な光学素子を形成できる。特に複数波長の光を回折格子を用いて分光する光分波器を小型化することができ、かつ高い効率で偏光依存の少ない波長分離を可能とすることができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明の埋め込み型周期構造体を模式図である。
- 【図2】 本発明の埋め込み型周期構造体の電子顕微鏡写真である。
- 【図3】 本発明の回折格子を備えた光導波路型光学素子の模式図である。
- 【図4】 本発明の平面光回路型光分波器の構成を示す模式図である。
- 【図5】 本発明の平面光回路型光分波器の光学配置を説明する図である。
- 【図6】 本発明の平面光回路型光分波器の他の構成を示す模式図である。
- 【図7】 本発明の平面光回路型光分波器の光学配置の例を示す図である。

【図 8】 本発明の平面光回路型光分波器の光学配置の例を示す図である。

【図 9】 本発明の平面光回路型光分波器の光学配置の変形例を示す図である。

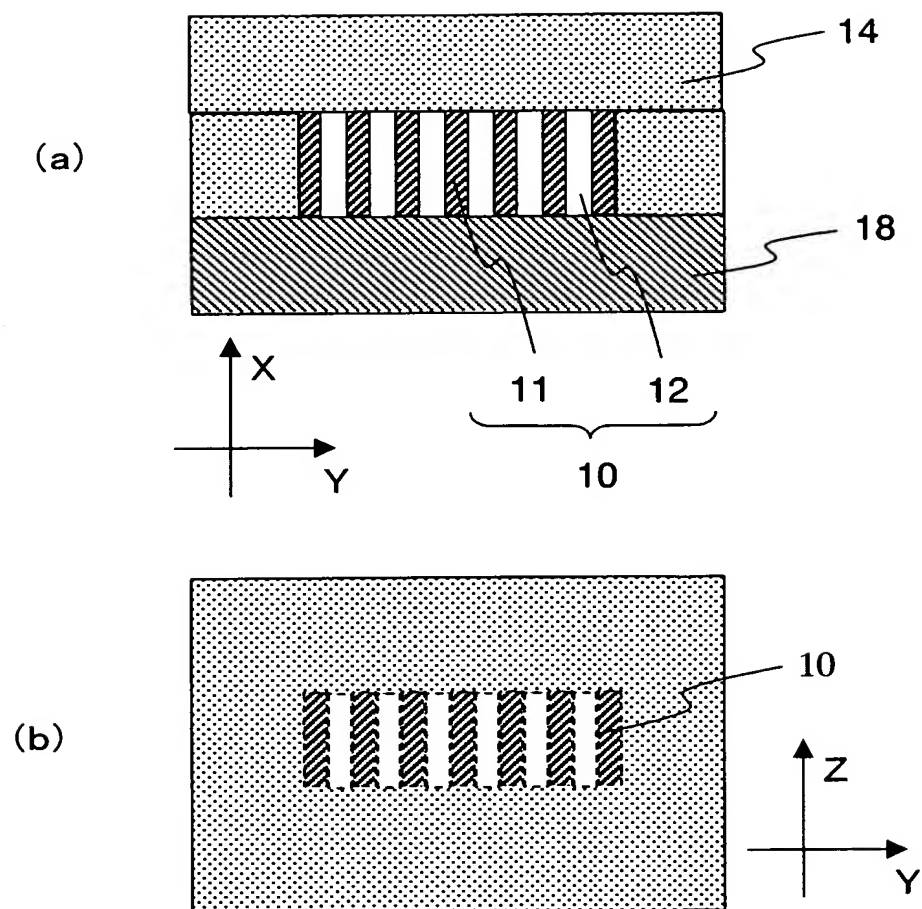
【図 1 0】 本発明の平面光回路の作製工程を示す図である。

【符号の説明】

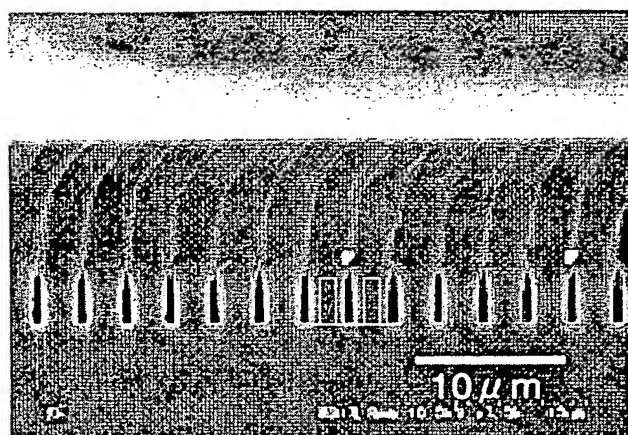
- 1 0 周期構造体
- 1 1、1 2 リッジ部
- 1 2、2 2 溝部
- 1 4 被覆層
- 1 8、3 8、7 8 基板
- 2 0、3 0、4 0、6 0 回折格子
- 2 4、6 4 上部クラッド層
- 2 6、6 6 コア層
- 2 8、6 8 下部クラッド層
- 3 3、3 5、4 3、4 5 凹面鏡
- 3 7 光入力部
- 3 9 光出力部
- 4 7 チャンネル光導波路
- 4 9 チャンネル光導波路アレイ
- 6 9 金属マスク

【書類名】 図面

【図 1】



【図 2】

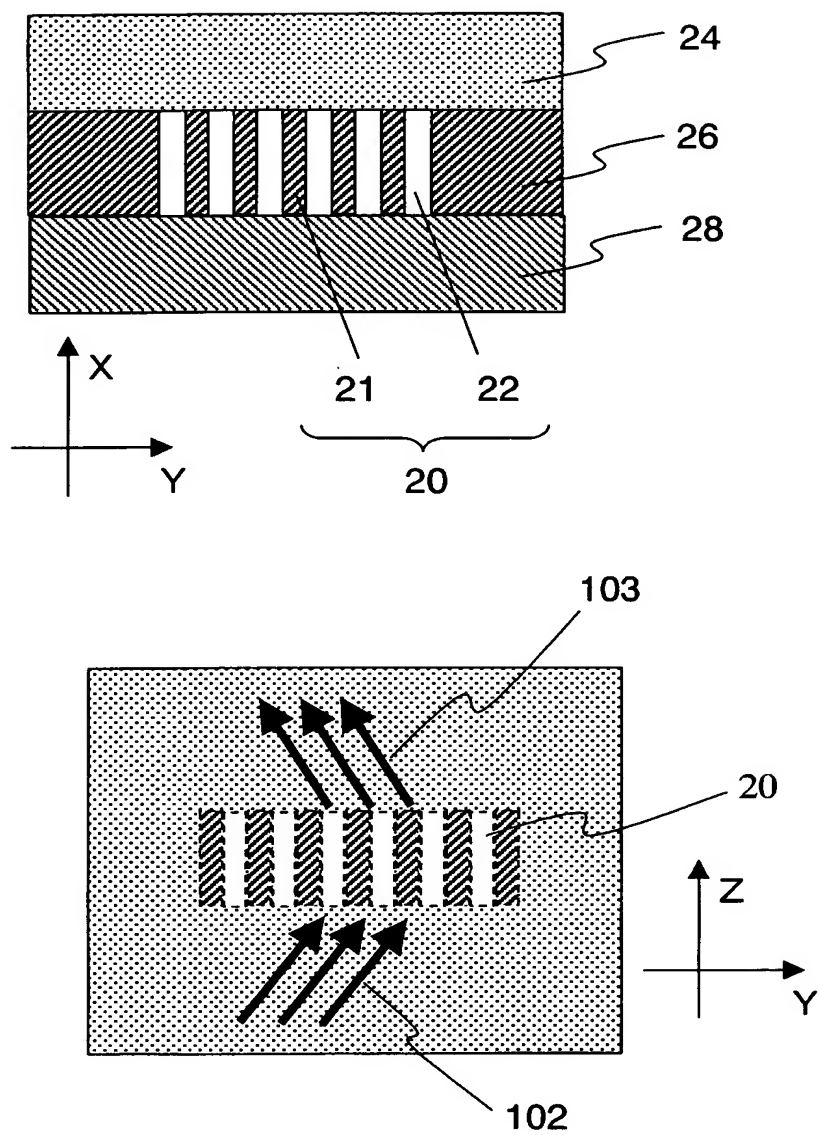


シリカ被覆層

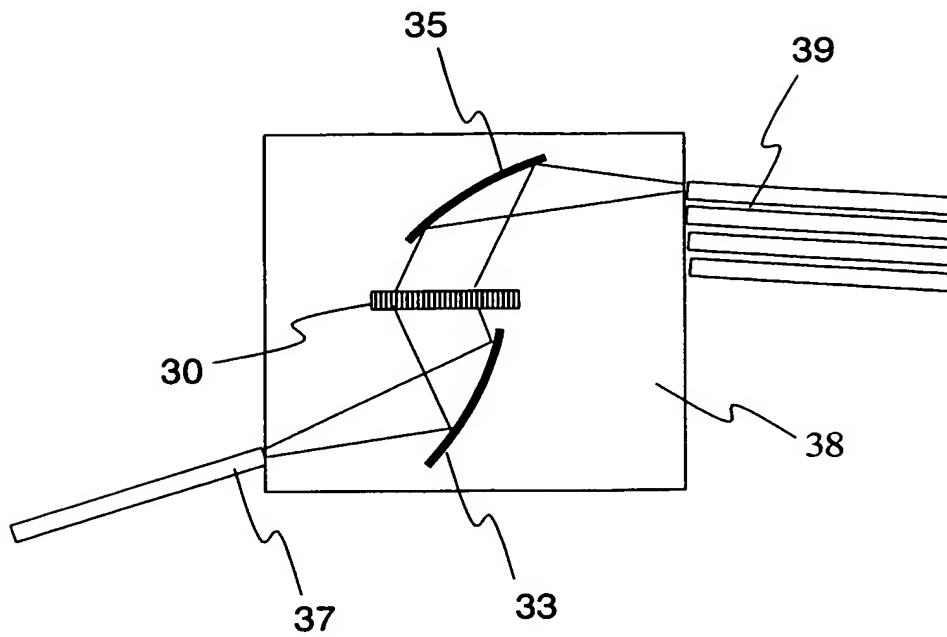
周期構造体

シリカ基板

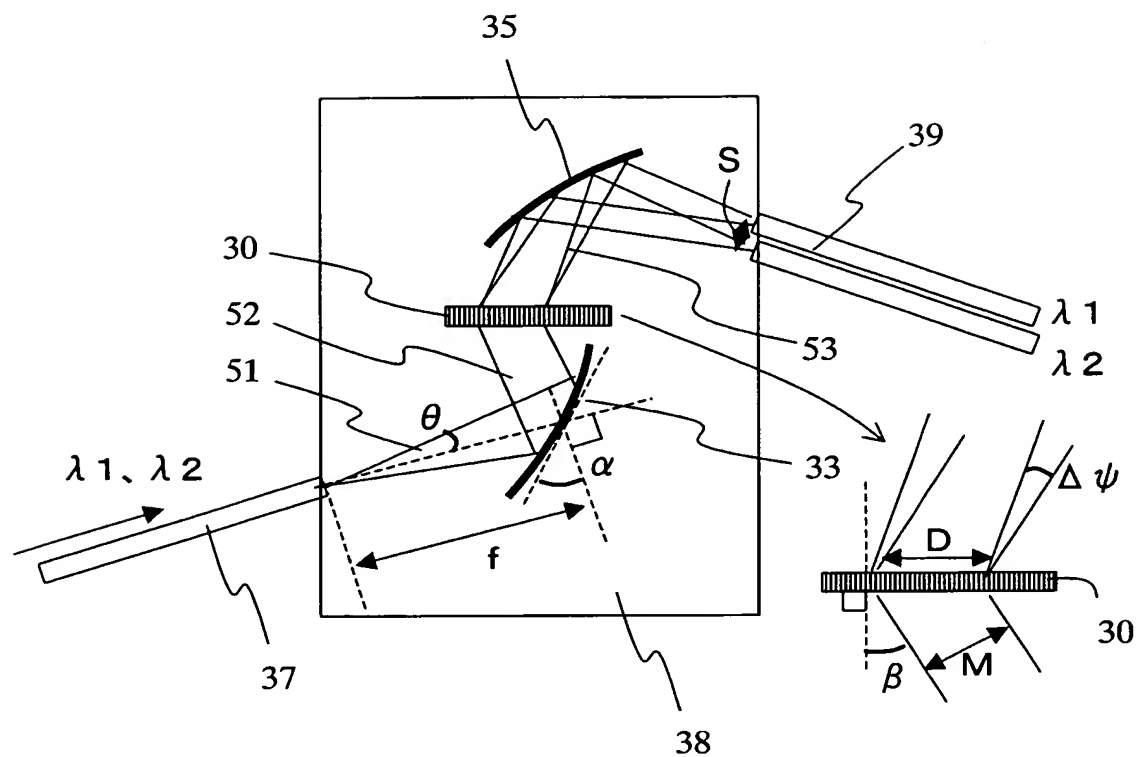
【図 3】



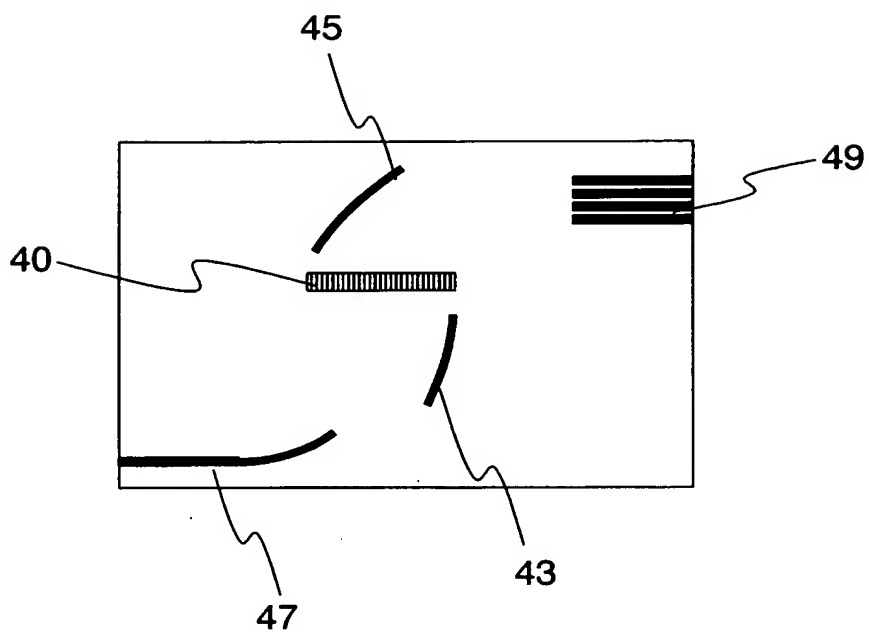
【図 4】



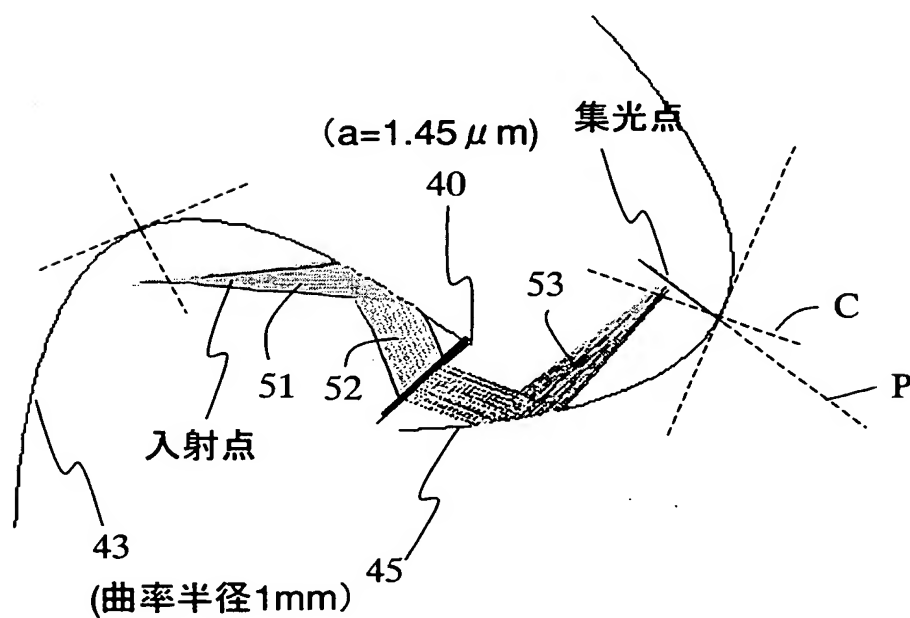
【図 5】



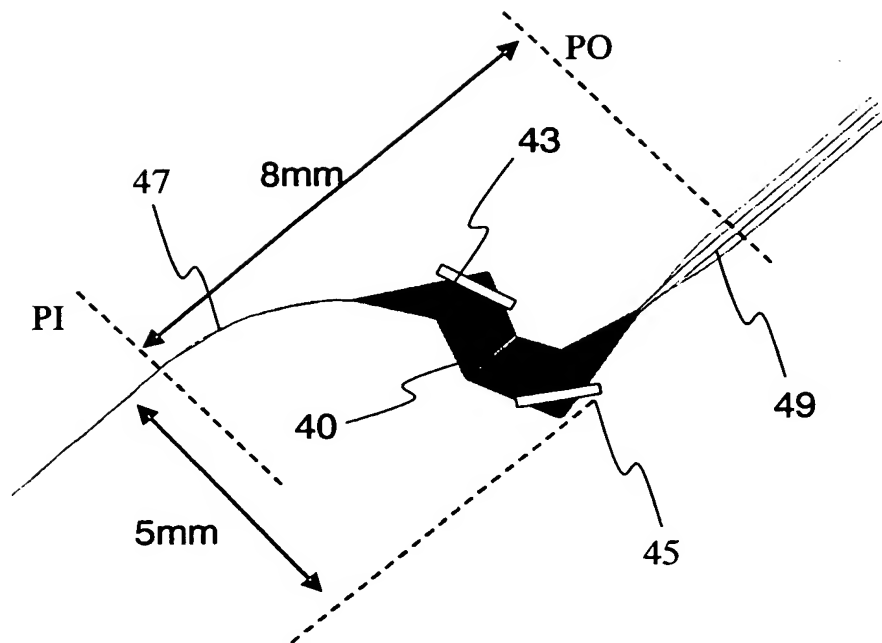
【図 6】



【図 7】

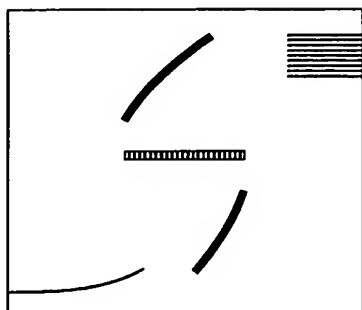


【図 8】

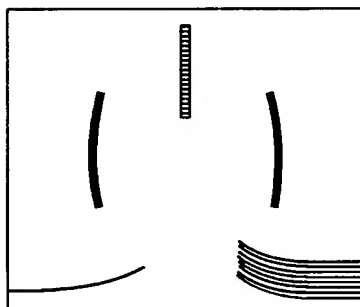


【図 9】

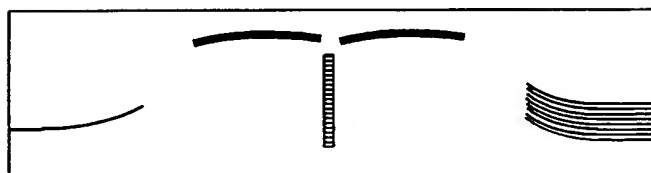
(a)



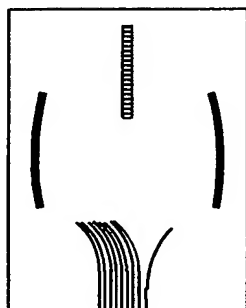
(b)



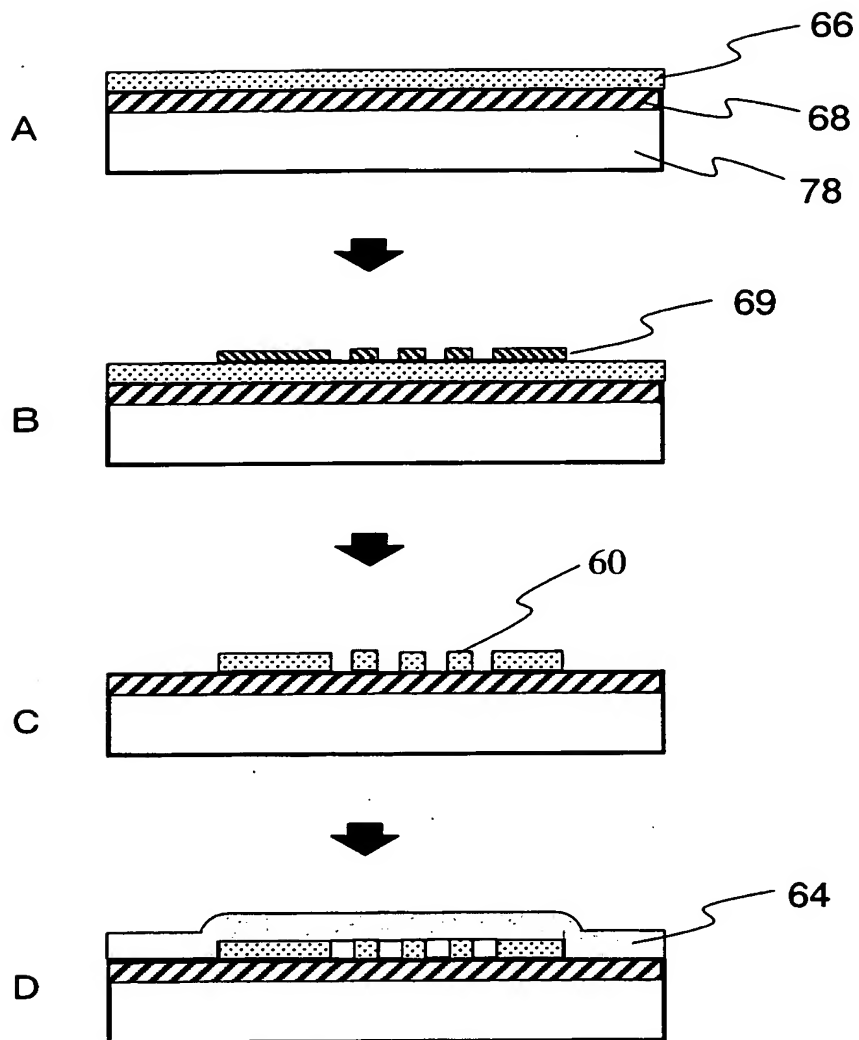
(c)



(d)



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光通信における低密度波長多重方式に使用する光分波器は、小型で設置スペースが小さくて済み、温度や湿度に対する耐性が高く安定性に優れ、かつ大量生産が可能でなければならない。

【解決手段】 本発明においては、回折格子 3 0 と凹面鏡 3 3、3 5 を同一基板 3 8 上に形成した平面光回路型の光分波器を提供する。この回折格子 3 0 は、固体からなるリッジ部と溝部の空間とを周期配列して構成されており、その回折格子が固体材料中に埋め込まれ、光導波路構造を有している。この平面光回路は通常にリソグラフィー、エッチング、成膜技術によって容易に作製することができる。

【選択図】 図 4

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 1 8 9 9 0
受付番号	5 0 3 0 0 1 3 3 2 1 7
書類名	特許願
担当官	伊藤 雅美 2 1 3 2
作成日	平成 1 5 年 2 月 5 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成15年 1月28日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 1 8 9 9 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 0 0 8]

1. 変更年月日 2 0 0 0 年 1 2 月 1 4 日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府大阪市中心区北浜四丁目 7 番 2 8 号

氏 名 日本板硝子株式会社

特願 2 0 0 3 - 0 1 8 9 9 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 0 1 0 2 1 5 3 3]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 4 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関 1 - 3 - 1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所